



III-281 – DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO E RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO DE GIRASSOL

Daniel Brinckmann Teixeira⁽¹⁾

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

Rosana Louzada Müller

Acadêmica do curso de Química Industrial na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

Mebur Bardini

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

Cláudia Mendes Mählmann

Física pela UNISC. Mestre em Ciências pela UFSC. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela UFRGS. Professora do Departamento de Química e Física da UNISC.

Adriane Lawisch Rodríguez

Engenheira Química pela Escola de Engenharia da PUCRS. Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da UFRGS. Doutora em Engenharia, Berlim- Alemanha. Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias da UNISC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Duque de Caxias, 305 – Bairro Rincão Comprido – Candelária – RS – CEP: 96930-000 – Brasil – Tel: (51) 3743-1850 – email: dteixeira@unisc.br

RESUMO

Os impactos causados pelo homem ao equilíbrio do ambiente natural ocorrem de diferentes formas. A poluição dos recursos hídricos, a contaminação do ar, a degradação do solo, a inexistência de saneamento básico, a falta de políticas de segregação e disposição correta dos resíduos seriam só alguns exemplos a ser citados. Em razão das consequências que as agressões ao ambiente causam, esse mesmo homem que polui e degrada, passa a ver na preservação dos recursos naturais, o caminho para o desenvolvimento sustentado. Cria-se então uma consciência ambiental valorizando atitudes que visem a sustentabilidade. Problemas relacionados ao destino final das enormes quantidades de resíduos sólidos produzido em nosso planeta, em especial os resíduos plásticos, incentiva à busca por novos materiais que minimizem os problemas ambientais. De acordo com Ishizaki (2006), esse fator tem levado ao desenvolvimento de compósitos utilizando fibras naturais como reforço. A eficiência de um produto obtido de material reciclado é fator determinante para sua aceitação junto ao mercado consumidor. Em função dessa exigência, estuda-se a aplicação de resíduos plásticos agregados a resíduos orgânicos como matéria-prima para um novo processo de fabricação. Assim sendo, o foco principal desse trabalho é originar um material compósito a partir de polipropileno pós-consumo e farelo de girassol, avaliando suas propriedades quando homogeneizado em diferentes concentrações.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Compósitos, Polipropileno, Resíduo, Girassol.

INTRODUÇÃO

O desempenho estrutural dos compósitos sintéticos ainda supera o dos compósitos naturais, porém com a crescente necessidade de proteger o meio ambiente das agressões dos processos industriais, minimizar a dependência de recursos não-renováveis e promover desenvolvimento sustentável, o uso de matérias-primas de origem vegetal vem crescendo nos últimos anos (LEVY NETO, 2006).

Para Carvalho (2005), a obtenção de um material compósito tem por finalidade combinar características específicas para o material resultante, provendo as condições necessárias para cada tipo de aplicação. Ainda segundo Carvalho (2005), as propriedades dos compósitos podem ser consideradas como uma combinação entre as propriedades da matriz, das fibras e das interfaces entre fibra e matriz. As escolhas de matriz e fibras devem considerar as condições de uso, as ações mecânicas atuantes, o ambiente e os agentes potencialmente degradadores, os custos e os benefícios durante a vida útil do material.

Conforme nos diz Bittencourt (2001), as propriedades do compósito dependem das propriedades dos constituintes que o formam, geometria e distribuição das fases. Para Bittencourt (2001), um dos mais importantes parâmetros é a fração volumétrica (ou peso) do reforço ou a taxa de volume, neste caso da fibra,



pois a distribuição do reforço determina a homogeneidade ou uniformidade do sistema material, sendo que quanto menos uniforme for a distribuição do reforço mais heterogêneo será o material e maior será o risco de falhas.

A maioria dos compósitos foi criada para melhorar combinações de características mecânicas, como a rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambientes e a altas temperaturas (CALLISTER, 2002), e permitir sua utilização em aplicações onde o polímero puro correria grande risco de falhar (CANEVAROLO, 2002).

É crescente o interesse na utilização de materiais lignocelulósicos, principalmente de fibras vegetais (sisal, juta, banana, piaçava, coco, curauá) como reforço em compósitos de matriz termofixa ou termoplástica. Tal interesse está relacionado às propriedades e características das fibras vegetais: baixo custo, baixa densidade, flexibilidade, entre outras. (TITA, 2002).

Segundo Pauleski (2007), existem muitos materiais que podem ser combinados para a produção de compósitos, podendo citar fibras virgens ou recicladas, resíduos agrícolas (bagaço de cana, palha de arroz e de trigo, bambu, algodão etc.) e polímeros sintéticos, como polipropileno e polietileno. Para Pauleski (2007), as fibras podem servir como reforço em compósitos, o reforço contribui para a resistência mecânica do material, e a matriz une as fibras, conservando assim a sua disposição geométrica, e também as protegendo do ambiente exterior.

Conforme Ishizaki (2006), no compósito polímero-fibra, a matriz polimérica é responsável pela distribuição da tensão aplicada ao compósito, sendo a sua escolha limitada principalmente pela temperatura do processamento, já que as fibras lignocelulósicas degradam a altas temperaturas. Desse modo, a temperatura de processamento deve permitir a obtenção de misturas homogêneas, sem que ocorra a degradação da fibra.

Segundo Joseph (1999), as fibras celulósicas possuem muitas características vantajosas ao uso, tais como: baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulo elevados, não são abrasivas (não desgastam os equipamentos de processo), não são tóxicas, são facilmente modificadas por agentes químicos, são abundantes, provêm de fontes renováveis. Ainda segundo Joseph (1999), as fibras vegetais são mais baratas do que as sintéticas podendo substituí-las em aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência, justificando sua utilização.

METODOLOGIA

A parte prática do presente trabalho foi desenvolvida nas instalações da Planta Piloto de Reciclagem Mecânica de Plásticos, no Laboratório de Polímeros, Embalagens e Reciclagem do Grupo de Pesquisa em Reciclagem de Plásticos, e no Laboratório de Ensaio em Materiais Poliméricos localizados nas dependências da Universidade de Santa Cruz do Sul.

As amostras de compósito obtidas nesse estudo possuem como matriz o polipropileno pós-uso e como reforço farelo de girassol. O polipropileno pós-uso utilizado é proveniente das bombonas de água mineral 20 litros, e o farelo de girassol é resíduo oriundo do processo de extração de biodiesel de girassol. As amostras estudadas foram divididas conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Amostras de compósito envolvendo granulometria e tratamento.

CÓDIGO DA AMOSTRA	FORMULAÇÃO DA AMOSTRA
90:10 com G + T	90% PP + 10% FARELO com granulometria e tratamento
80:20 com G + T	80% PP + 20% FARELO com granulometria e tratamento
90:10 sem G + T	90% PP + 10% FARELO sem granulometria e com tratamento
80:20 sem G + T	80% PP + 20% FARELO sem granulometria e com tratamento
88:10:2 com G + T	88% PP + 10% FARELO + 2% PE com granulometria e com tratamento
78:20:2 com G + T	78% PP + 20% FARELO + 2% PE com granulometria e com tratamento



EQUIPAMENTOS

Os equipamentos e materiais utilizados no processamento das amostras foram: moinho de facas MECANOFAR MF300/R, injetora HIMACO modelo LHS-130/400, homogeneizador de câmara fechada MH 100, estufa com circulação de ar, sistema de peneiras, farelo de girassol, polipropileno pós-consumo e 10 litros de água a 80°C.

OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Após retirar o rótulo e eventuais corpos estranhos das bombonas de água mineral, elas são moídas em um moinho de facas possibilitando a posterior homogeneização desse material. O farelo de girassol passou por peneiramento (Figura 1) com seis diferentes diâmetros (0; 0,710; 1,4; 2; 2,8 e 4mm). Para processamento do compósito contendo granulometria de suas partículas, foram adotados três diferentes diâmetros (0,710; 1,4 e 2mm), originando uma amostra com controle da granulometria entre 0,710 e 2mm.

O controle da granulometria, bem como o tratamento do farelo, tem por objetivo verificar eventuais influências desses parâmetros nas propriedades do compósito obtido. Verificou-se também a influência da adição de polietileno grafitizado, um agente compatibilizante, na formulação do compósito.



Figura 1 – Sistema de peneiras para distribuição granulométrica do farelo de girassol.

As amostras do compósito contendo granulometria e tratamento com água foram estudadas em duas concentrações de farelo de girassol (10% e 20%). Demais amostras do compósito, sem granulometria e sem tratamento, foram obtidas em diferentes formulações (20%, 30% e 40%).

O tratamento do farelo de girassol ocorreu com água a 80°C durante o período de 10 minutos. Após isso o farelo foi levado a uma estufa com circulação de ar onde permaneceu durante o tempo de 12 horas exposto à temperatura de 70°C. Esse tempo foi necessário para atingir a total secagem e retirada de umidade do material.

Após tratamento e secagem, o farelo de girassol foi utilizado para originar as diferentes amostras presentes nesse estudo. As amostras em questão, conforme distribuição da Tabela 1, foram misturadas no Homogeneizador MH-100 (Figura 2).



Figura 2 – Misturador de câmara fechada MH 100.

Posteriormente ao processo de homogeneização, as amostras foram moídas e em seguida injetadas na forma de corpos de prova para realização dos ensaios mecânicos. A Figura abaixo ilustra as amostras misturadas.



Figura 3 – Amostra de compósito homogeneizada.

Para o processo de injeção (Figura 4), as temperaturas utilizadas nas zonas de aquecimento foram de 170°C, 175°C e 180°C, respectivamente para as zona 1, 2 e 3. Os tempos de injeção e resfriamento adotados foram, respectivamente, 10 e 15 segundos. Dessa forma a temperatura de processamento permitiu a homogeneização das amostras sem que ocorresse a queima do farelo de girassol.



Figura 4 – Máquina injetora utilizada na confecção dos corpos de prova.

As amostras submetidas aos ensaios mecânicos foram avaliadas após injeção dos corpos de prova e, a medição do índice de fluidez ocorreu anteriormente ao processo de injeção.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Para avaliação das propriedades do compósito, foram obtidos corpos de prova padrões para ensaios de tração e flexão (Figura 5).



Figura 5 – Corpos de prova para ensaio de tração do compósito.

As amostras de compósito obtidas foram avaliadas através de ensaios de tração (Figura 6), dureza, densidade, absorção e índice de fluidez. Em virtude de problemas com a célula de carga para ensaios de flexão, esse resultado não pode ser obtido.



Figura 6 – Realização do ensaio de tração.

Para avaliação das propriedades do compósito obtido foram utilizados a Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (EMIC DL 10000), Balança de densidade (Denver Instrument), Durômetro (Teclock Politest) e o equipamento medidor de Índice de Fluidez *Melt Flow Jr* marca CEAST da Polimate. A avaliação das propriedades segue critérios de procedimentos descritos em normas técnicas específicas. Abaixo se especificam os ensaios e respectivas normas utilizadas:

- Tração: norma ASTM-D638, célula de carga de 500 kgf velocidade do ensaio de 5 mm/min, na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos EMIC DL 10000;
- Índice de Fluidez: norma ASTM D1238, método L para o polipropileno com temperatura de 230°C, carga no pistão de 2,160 kg e tempo de corte de 60 segundos.
- Absorção de água: norma ASTM-D570; os corpos de prova foram cortados em pequenas dimensões. Foram medidas as massas de cada corpo de prova, e em seguida foram mergulhados em um copo de béquer com água deionizada, onde permaneceram por 24 horas. Após este tempo as amostras foram retiradas da água e tiveram novamente suas massas medidas. Através da Equação 1 foi determinado o teor, em porcentagem, de absorção de água das amostras, onde “A” é o teor de absorção, “M₁” é a massa do corpo de prova antes da imersão e “M₂” a massa do corpo de prova após a imersão.

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

Equação (1)

RESULTADOS

Após dividir as amostras conforme formulações apresentadas na Tabela 1 e realizar os ensaios descritos na metodologia, foram obtidos os gráficos do comportamento das amostras. Em virtude disso torna-se possível comparar os efeitos da adição do farelo de girassol a matriz polimérica de polipropileno. A partir dos mesmos, podemos ainda comparar os diferentes comportamentos apresentados por cada formulação de amostra contendo controle da granulometria e tratamento do material. Para efeitos de comparação, uma amostra sem farelo de girassol contendo apenas polipropileno (100% PP) pós-uso foi obtida.

ENSAIO DE TRAÇÃO

É possível perceber na Figura 7, através da comparação de propriedade entre material compósito e apenas plástico que o comportamento das amostras envolvendo adição de farelo de girassol como reforço são inferiores a do polímero puro no parâmetro força máxima.

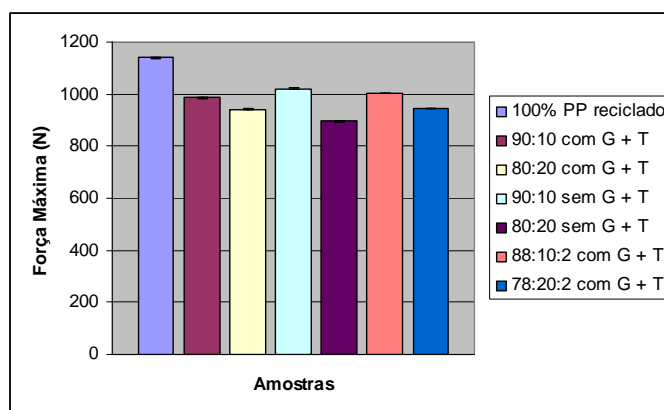


Figura 7 – Força máxima detectada nas amostras.

Conforme literatura consultada, as fibras podem servir como reforço em compósitos contribuindo para aumento da resistência mecânica do material. No entanto, quando a resistência mecânica do material não sofre melhora significativa, como no caso do farelo de girassol incorporado ao polipropileno pós-uso, justifica-se seu uso em aplicações onde o fator custo é preponderante ao fator resistência. Essa redução no parâmetro força máxima e elevação do parâmetro módulo de elasticidade indicam a viabilidade da aplicação desse material compósito para elaboração de produtos que não sejam expostos a esforços elevados.

ÍNDICE DE FLUIDEZ

Na Figura 8 observa-se os resultados obtidos após determinação do índice de fluidez das amostras.

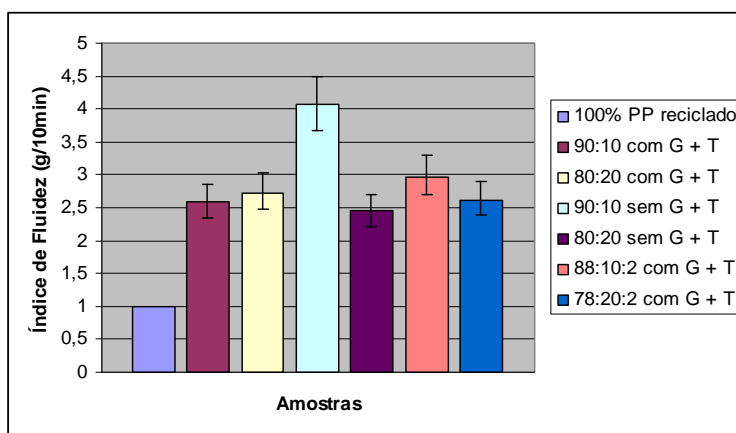


Figura 8 – Índice de fluidez das amostras.

Observando acima, percebe-se que os resultados para índice de fluidez das amostras do compósito em questão, apresentaram elevação. Esse aumento, mesmo não sendo em valores significativos, sugere a ocorrência de degradação da cadeia molecular do polímero utilizado como matriz, no caso o polipropileno.

Esse comportamento das amostras (índice de fluidez crescente) caracteriza uma degradação por cisão da cadeia molecular do polímero predominante à degradação por reticulação. Observa-se elevação do índice de fluidez, sugerindo a degradação por cisão da cadeia polimérica, fazendo com que o material escoe mais facilmente, ou seja, torna-se menos viscoso e tem seu peso molecular reduzido.

ABSORÇÃO DE ÁGUA

Com base na Tabela 2, verifica-se que a absorção de água aumenta conforme o teor de fibras encontrados em cada amostra. Observa-se que os compósitos absorvem significativa quantidade de água, podendo ocasionar o



desenvolvimento de microrganismos, inchamento e conseqüente fragilização do material. Isto ocorre devido ao caráter hidrofílico do farelo de girassol, tendo sido maior para as amostras com maior percentual de farelo.

Tabela 2 – Absorção das amostras contendo granulometria e tratamento.

Amostra	Absorção de água (%)
90:10 com G + T	0,1253
80:20 com G + T	0,2263
90:10 sem G + T	0,1344
80:20 sem G + T	0,2177
88:10:2 com G + T	0,1975
78:20:2 com G + T	0,2198

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dos ensaios com o material compósito observa-se a viabilidade de sua aplicação para usos menos nobres, onde não seja utilizado em aplicação de função estrutural.

O ensaio de absorção de água indicou fragilidade do compósito a aplicações em ambientes com alto teor de umidade, pois indicou alta absorção de água nas amostras com maiores concentrações de farelo.

Embora a resistência à tração indique redução da força máxima, o mesmo ensaio indicou elevação no módulo de elasticidade das amostras. Com base nos resultados alcançados pode-se inferir a respeito das eventuais utilizações ao material compósito em questão, mesmo que ainda sejam necessárias algumas melhorias em suas propriedades mecânicas.

Agregar resíduos plásticos, originados nas mais diversas atividades diárias do homem, a resíduos orgânicos, como as fibras vegetais, torna-se uma alternativa bastante interessante no que diz respeito a minimização de impactos ambientais causados pela geração e posterior acúmulo de resíduos no ambiente.

A obtenção de compósitos, confeccionados a partir de resíduos plásticos e fibras vegetais, pode ser otimizado através da elaboração de amostras com diferentes formulações e parâmetros de processo (granulometria, homogeneização, etc).

Objetivando a melhoria das características desse compósito, pode-se ainda, realizar diferentes tratamentos químicos que melhorem a interface entre fibra e matriz conferindo ao compósito melhores propriedades como um todo. Com relação à característica higroscópica do farelo existe a possibilidade de impermeabilização das amostras através de processos que lhe confirmem essa característica.

AGRADECIMENTOS

Ao pólo de Modernização Tecnológica – Vale do Rio Pardo, ao CNPq e à FAPERGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BITTENCOURT, C. B. *Procedimento de ensaio para avaliar propriedades ao cisalhamento de materiais compósitos: método da viga com entalhe* em V. Itajubá, 2001. 14f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2001.
2. CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed Rio de Janeiro: LTC, 2002.
3. CANEVAROLO, S. V. Jr. *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber, 2002.
4. CARVALHO, R. C. *Compósitos de fibra de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira*. 2005. 133 f. Dissertação (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.



5. ISHIZAKI, M. H.; *Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: Influência do teor de fibra e das condições de mistura. Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.
6. JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. *Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 9, n. 4, p. 136-141, 1999.
7. LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. *Compósitos estruturais: ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 313 p.
8. PAULESKI, D.T.; *Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. Ciência Florestal*, v. 17, n. 2, p. 157-170, 2007.
9. TITA, S. P. S. *Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Polímeros*, v. 12, n. 4, p. 228-239, 2002.